

05;06;12

Кремниевые диффузионные диоды с вольт-амперными характеристиками, близкими к идеальным

© Н.С. Болтовец, К.А. Исмаилов, Р.В. Конакова, М.Б. Тагаев

Институт физики полупроводников НАН Украины,
252650 Киев, Украина

(Поступило в Редакцию 9 июля 1997 г.)

Показана возможность получения близких к идеальным вольт-амперных характеристик кремниевых мелких диффузионных p - n -переходов малой площади при облучении последних гамма-квантами ^{60}Co в диапазоне доз $10^3 - 5 \cdot 10^5$ Gy. В облученных диодах наблюдается смена механизма токопереноса с генерационно-рекомбинационного на диффузионный. Фактор неидеальности на прямой ветви вольт-амперной характеристики уменьшается с 1.68 в необлученном до 1.17 в облученном до дозы $5 \cdot 10^5$ Gy диоде, на обратной ветви вольт-амперной характеристики облученных диодов при комнатной температуре наблюдается ток насыщения.

Известно, что типичным механизмом токопереноса в широком интервале температур, включая комнатную, в кремниевых диффузионных p - n -переходах является генерационно-рекомбинационный. Этот механизм, предложенный Са-Нойсе-Шокли [1], подтвержденный позднее многими авторами и вошедший в ряд работ [2-6], до 1980 г. практически никем не подвергался сомнению. В 1980-1984 гг. В.В.Тучкевич с соавторами сумели показать, что при особых режимах термообработки [7], конструкции p - n -перехода, исключающей влияние поверхности [8], использовании p - n -переходов типа поликристаллический кремний-монокристаллический кремний [9-10] можно реализовать диффузионный механизм токопереноса в кремниевых p - n -переходах при комнатной температуре. В указанных работах нетривиальными являются способы изготовления и обработки p - n -перехода, когда приборная структура еще не имеет контактов.

В данной работе показана возможность получения вольт-амперной характеристики (ВАХ), близкой к идеальной, для кремниевых диффузионных p - n -переходов малой площади, используемых для изготовления лавинно-пролетных диодов. С этой целью в отличие от [7-10] корпусированные диоды подвергались облучению гамма-квантами ^{60}Co в диапазоне доз $10^3 - 5 \cdot 10^5$ Gy (интенсивность облучения 3 Gy/s, температура в зоне облучения не превышала $+50^\circ\text{C}$).

Кремниевые диффузионные p - n -переходы были изготовлены диффузией бора из газовой фазы при температуре 1050°C в кремниевую эпитаксиальную n - n^+ -структуру в течение 30-45 min. Глубина залегания p - n -перехода составляла 0.6 μm . Концентрация легирующей примеси (бора) в p^+ -слое была 10^{20} cm^{-3} , (фосфора) в n -слое $3 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, в n^+ -подложке 10^{19} cm^{-3} , толщины n - и n^+ -областей соответственно 1.5 и 300 μm . Диоды с диаметрами 30 μm были изготовлены по технологии с интегральным теплоотводом и смонтированы в корпуса лавинно-пролетных диодов [11].

Измерялись прямые и обратные ветви ВАХ диодов в диапазоне температур 300-370 K до и после облучения

гамма-квантами ^{60}Co в диапазоне доз $10^3 - 5 \cdot 10^5$ Gy. Облучение образцов в интервале $10^3 - 10^4$ Gy практически не изменяло ВАХ.

На рис. 1, а приведены прямые ветви ВАХ одного из исследуемых диодов до (кривая 1) и после облучения до дозы 10^5 , $2 \cdot 10^5$, $5 \cdot 10^5$ Gy (кривые 2-4 соответственно). Исходная ВАХ описывается уравнением

$$I = I_0 \left[\exp(eV/nkT) - 1 \right],$$

где I_0 — ток насыщения, e — элементарный заряд, n — фактор неидеальности, k — постоянная Больцмана, T — температура, V — приложенное напряжение.

В необлученном образце фактор неидеальности равен 1.68, и на начальном участке ВАХ имеется избыточный ток утечки. После облучения гамма-квантами ^{60}Co до дозы 10^5 Gy фактор неидеальности уменьшается до 1.5, а после облучения дозой $5 \cdot 10^5$ Gy становится равным 1.17. При этом токи утечки практически "исчезают" и на два порядка уменьшается ток насыщения по сравнению с необлученным образцом. Уменьшение фактора неидеальности до величины 1.17 свидетельствует о практическом отсутствии рекомбинационной компоненты прямого тока.

Типичные обратные ветви ВАХ до и после облучения гамма-квантами ^{60}Co приведены на рис. 1, б. Исходные ВАХ необлученного диода имеют два участка: термогенерационный с $I_{\text{op}} \approx \sqrt{V_{\text{op}}}$ и участок пробоя. С ростом дозы гамма-облучения от 10^5 до $5 \cdot 10^5$ Gy величина обратного тока уменьшается и увеличивается протяженность участка, на котором обратный ток не зависит от напряжения. Температурная зависимость тока на этом участке имеет один наклон с энергией активации $E_a \sim 1.1 \text{ eV}$, что свидетельствует о преобладании диффузионного тока над током термогенерации (рис. 2, кривые 1-4). Существенным в температурной зависимости обратного тока необлученного образца является наличие двух участков: диффузионного в высокотемпературной области и генерационно-рекомбинационного в интервале температур 300-370 K. При облучении до 10^5 Gy

протяженность генерационно-рекомбинационного участка уменьшается, а при дальнейшем увеличении дозы до $5 \cdot 10^5$ Gy температурная зависимость обратного тока определяется одним преимущественным механизмом переноса — диффузионным.

Таким образом, проведенные исследования показали, что при облучении корпусированных кремниевых диф-

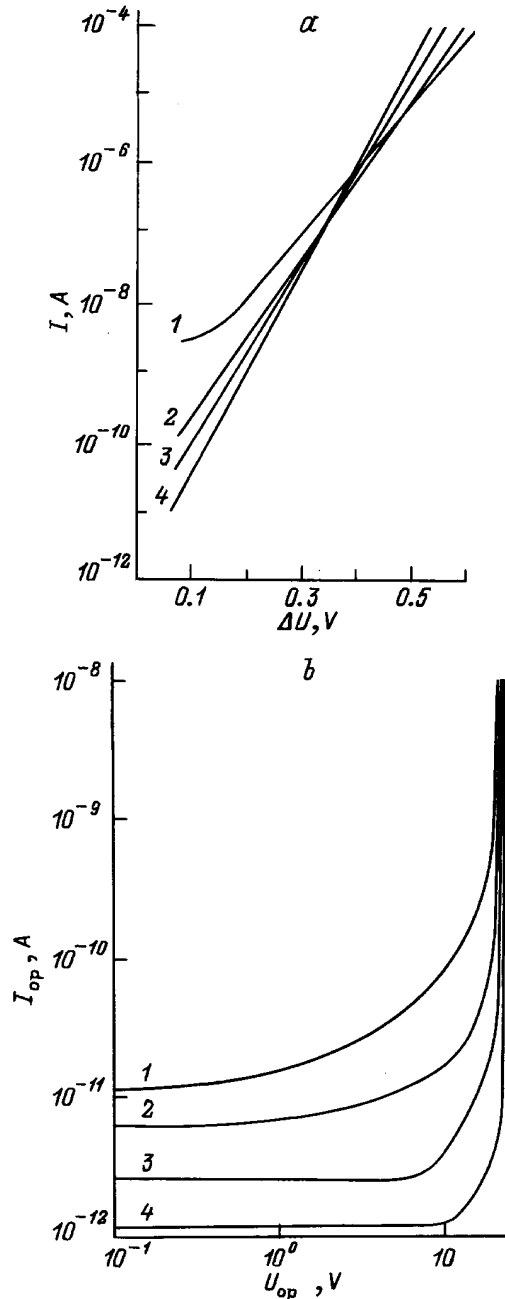


Рис. 1. *a* — прямые ветви ВАХ кремниевого диффузионного $p-n$ -перехода диаметром $30 \mu\text{m}$: 1 — исходная, 2–4 — после облучения γ -квантами ^{60}Co до дозы 10^5 , $2 \cdot 10^5$, $5 \cdot 10^5$ Gy соответственно; *b* — обратные ветви ВАХ кремниевого диффузионного $p-n$ -перехода диаметром $30 \mu\text{m}$: 1 — исходная, 2–4 — после облучения γ -квантами ^{60}Co до дозы 10^5 , $2 \cdot 10^5$, $5 \cdot 10^5$ Gy соответственно.

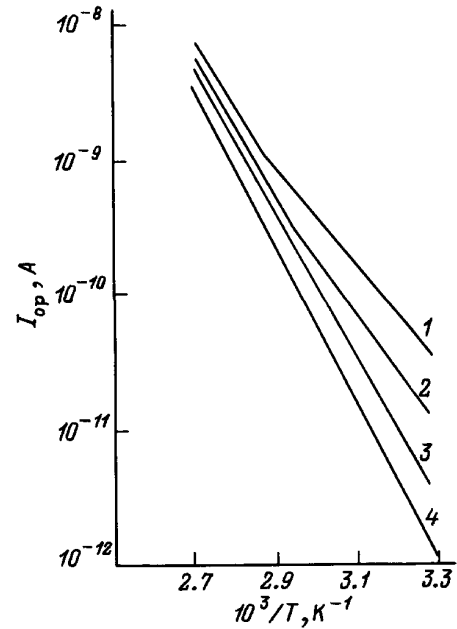


Рис. 2. Температурная зависимость обратного тока кремниевого $p-n$ -перехода диаметром $30 \mu\text{m}$, измеренная при $V_{\text{ор}} = 5 \text{ В}$: 1 — исходная, 2–4 — после облучения γ -квантами ^{60}Co до дозы 10^5 , $2 \cdot 10^5$, $5 \cdot 10^5$ Gy соответственно.

фузионных диодов малой площади гамма-квантами ^{60}Co в интервале доз 10^5 – $5 \cdot 10^5$ Gy можно получить диоды с ВАХ, близкими к идеальным при комнатной температуре.

Работа поддержана Украинским научно-технологическим центром, проект № 464.

Список литературы

- [1] Sah S.T., Noyse R.N., Shockley W. // Proc. IRE. 1957. Vol. 45. N 9. P. 1228–1243.
- [2] Зи С. Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984. Т. 1. 456 с.
- [3] Рейви К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. М.: Мир, 1984. 475 с.
- [4] Тилл У., Лаксон Дж. Интегральные схемы. Материалы и приборы. Изготовление. М.: Мир, 1985. 501 с.
- [5] Григоренко В.П., Дерменджи П.Г. и др. Моделирование и автоматизация проектирования силовых полупроводниковых приборов. М.: Энергоатомиздат, 1988. 280 с.
- [6] Булярский С.В., Грушко Н.С. Физические принципы функциональной диагностики $p-n$ -переходов с дефектами. Кишинев: Штиинца, 1992. 236 с.
- [7] Иванов Е.В., Лопатина Л.Б. и др. // ФТП. 1982. Т. 16. Вып. 2. С. 207–211.
- [8] Иванов Е.В., Лопатина Л.Б. и др. // Письма в ЖТФ. 1980. Т. 6. Вып. 14. С. 874–877.
- [9] Лопатина Л.Б., Суханов В.Л. и др. // Письма в ЖТФ. 1979. Т. 5. Вып. 16. С. 11–13.
- [10] Клячкин Л.Е., Лопатина Л.Б. и др. // ФТП. 1983. Т. 17. Вып. 9. С. 1648–1651.
- [11] Конакова Р.В., Скороход М.Я., Щербина Л.В. // Электронная пром-сть. 1990. № 6. С. 68–70.